

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-141407

(43)Date of publication of application : 17.05.2002

(51)Int.Cl.

H01L 21/76
H01L 21/3065
H01L 27/04
H01L 21/822
H01L 29/78
H01L 21/336

(21)Application number : 2000-333274

(71)Applicant : ROHM CO LTD

(22)Date of filing : 31.10.2000

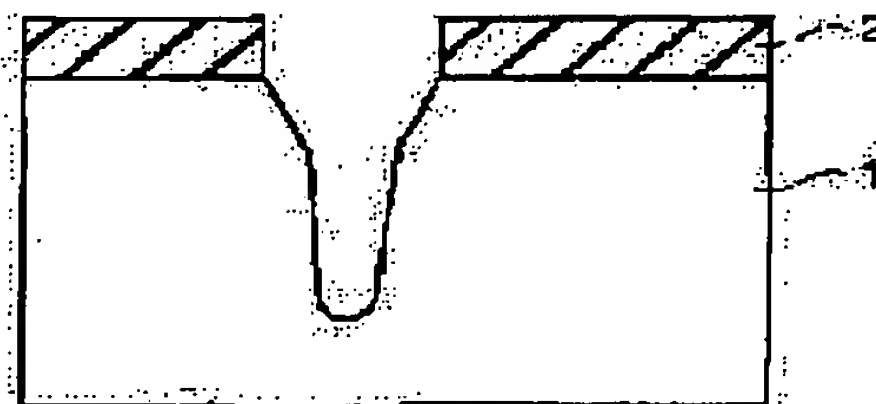
(72)Inventor : TAWARA TAKASHI

(54) SEMICONDUCTOR DEVICE AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a very precise and reliable trench having a gentle tapered face near an opening.

SOLUTION: A process of forming the trench in the surface of a semiconductor substrate comprises: a first etching process of selectively etching the surface of the semiconductor substrate exposed out of a mask using a mixed gas of hydrohalogen and fluorocarbon; a second etching process of etching the surface of the semiconductor substrate using a plasma of a mixed gas of a halogen-contained gas and oxygen or nitrogen after the first etching process; and a third etching process of etching the surface of the semiconductor substrate using a plasma of a mixed gas of a halogen-contained gas and oxygen after the second etching process.



BEST AVAILABLE COPY

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

引用例3

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-141407

(P2002-141407A)

(43)公開日 平成14年5月17日(2002.5.17)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	FI	キーワード(参考)
H01L 21/76		H01L 29/78	653B 5F004
21/3065		21/76	L 5F032
27/04		21/302	F 5F038
21/822		27/04	C 5F040
29/78		29/78	301V
審査請求 未請求 請求項の数15 OL (全11頁) 最終頁に続く			

(21)出願番号 特願2000-333274(P2000-333274)

(22)出願日 平成12年10月31日(2000.10.31)

(71)出願人 000116024

ローム株式会社

京都府京都市右京区西院清崎町21番地

(72)発明者 田原 傑

静岡県浜松市三和町10番地 ローム浜松株式会社内

(74)代理人 100105647

井理士 小栗 昌平 (外4名)

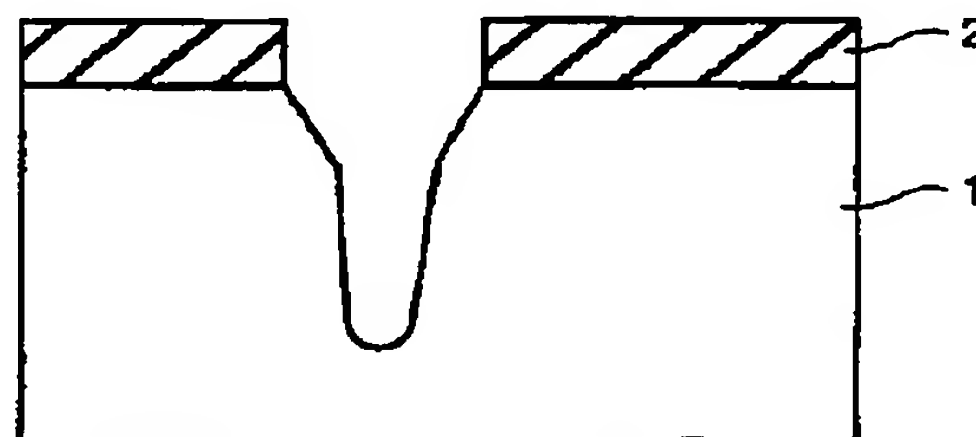
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 半導体装置およびその製造方法

(57)【要約】

【課題】 開口部近傍で緩やかなテーパ面をもつ高精度で信頼性が高いトレンチを提供する。

【解決手段】 半導体基板表面にトレンチを形成する工程が、ハロゲン化水素とフロロカーボンの混合ガスを用いてマスクから露呈する半導体基板表面を選択的にエッチングする第1のエッチング工程と、前記第1のエッチング工程の後、ハロゲン含有ガスと、酸素または窒素との混合ガスプラズマを用いて半導体基板表面をエッチングする第2のエッチング工程と、前記第2のエッチング工程の後、ハロゲン含有ガスと、酸素との混合ガスプラズマを用いて半導体基板表面をエッチングする第3のエッチング工程とを含むことを特徴とする。



I

【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体基板表面に形成されたトレンチを具備し、前記トレンチ側壁が、トレンチ開口部で緩やかなテーパ角をもつ第1のテーパ面と、所定の深さよりも深い領域で前記テーパ角よりも急峻なテーパ角をなす第2のテーパ面とを含むことを特徴とする半導体装置。

【請求項2】 前記半導体基板はシリコン基板であり、前記トレンチは、内壁に絶縁膜が形成され、素子分離領域を構成していることを特徴とする請求項1に記載の半導体装置。

【請求項3】 前記トレンチ内壁に形成された拡散層と、更にこの拡散層表面に形成された誘電体膜と、前記誘電体膜表面に形成された導電性膜とによってキャパシタを構成してなり、前記導電性膜は前記トレンチの開口端から前記半導体基板表面まで到達するように形成されていることを特徴とする請求項1に記載の半導体装置。

【請求項4】 前記トレンチ内壁にゲート絶縁膜を介してゲート電極が形成されており、ソース・ドレイン拡散領域の一方が前記トレンチの開口部近傍から、前記半導体表面まで到達するように形成され、トレンチ内壁の一部をチャネルとするMOSFETを構成していることを特徴とする請求項1に記載の半導体装置。

【請求項5】 半導体基板表面にトレンチを形成する工程が、

ハロゲン化珪素、ハロゲン化ホウ素のうちの少なくとも1種類のガスと、酸素または窒素のうちの少なくとも1種類のガスとの混合ガスプラズマを用いてマスクから露呈する半導体基板表面を選択的にエッチングする第1のエッチング工程と、

前記第1のエッチング工程の後、ハロゲン含有ガスと、酸素または窒素との混合ガスプラズマを用いて半導体基板表面をエッチングする第2のエッチング工程とを含むことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項6】 前記ハロゲン化珪素は SiCl_4 、 SiBr_4 のいずれかであり、前記ハロゲン化ホウ素は、 BCl_3 、 BBr_3 のいずれかであることを特徴とする請求項5に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項7】 半導体基板表面にトレンチを形成する工程が、

ハロゲン化水素とフロロカーボンの混合ガスを用いてマスクから露呈する半導体基板表面を選択的にエッチングする第1のエッチング工程と、

前記第1のエッチング工程の後、ハロゲン含有ガスと、酸素または窒素との混合ガスプラズマを用いて半導体基板表面をエッチングする第2のエッチング工程と、

前記第2のエッチング工程の後、ハロゲン含有ガスと、酸素との混合ガスプラズマを用いて半導体基板表面をエッチングする第3のエッチング工程とを含むことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項8】 前記第3のエッチング工程は、 HBr

(2)

特開2002-141407

2

と、 Cl_2 と、 O_2 との混合ガスであることを特徴とする請求項7に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項9】 半導体基板表面にトレンチを形成する工程が、

ハロゲンおよびまたはハロゲン化水素と有機シラン($\text{Si}(\text{CH}_3)_x\text{H}_{4-x}$)と酸素又は窒素の混合ガスを用いてマスクから露呈する半導体基板表面を選択的にエッチングする第1のエッチング工程と、

前記第1のエッチング工程の後、ハロゲン含有ガスと、酸素または窒素との混合ガスプラズマを用いて半導体基板表面をエッチングする第2のエッチング工程とを含むことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項10】 前記ハロゲンは、 Cl_2 、 Br_2 、 I_2 の少なくとも1種を含み、かつ前記ハロゲン化水素は HCl 、 HBr 、 HI の少なくとも1種を含むことを特徴とする請求項9に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項11】 前記ハロゲン含有ガスは、 Cl_2 、 HCl 、 Br_2 、 HBr 、 HI の少なくとも1種を含むことを特徴とする請求項9又は10に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項12】 前記有機シランガスは、テトラメチルシラン： $\text{Si}(\text{CH}_3)_4$ 、トリメチルシラン： $\text{Si}(\text{CH}_3)_3\text{H}$ 、ジメチルシラン： $\text{Si}(\text{CH}_3)_2\text{H}_2$ のいずれかであることを特徴とする請求項9乃至11のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項13】 半導体基板表面にトレンチを形成する工程が、

ハロゲンおよびまたはハロゲン化水素と炭化水素の混合ガスを用いてマスクから露呈する半導体基板表面を選択的にエッチングする第1のエッチング工程と、

前記第1のエッチング工程の後、ハロゲン含有ガスと、酸素または窒素との混合ガスプラズマを用いて半導体基板表面をエッチングする第2のエッチング工程とを含むことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項14】 前記ハロゲンは、 Cl_2 、 Br_2 、 I_2 の少なくとも1種を含み、かつ前記ハロゲン化水素は HCl 、 HBr 、 HI の少なくとも1種を含むことを特徴とする請求項13に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項15】 前記ハロゲン含有ガスは、 Cl_2 、 HCl 、 Br_2 、 HBr 、 HI の少なくとも1種を含むことを特徴とする請求項13又は14に記載の半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体装置およびその製造方法に関し、特に、トレンチの形成に関する。

【0002】

【従来の技術】近年半導体装置の微細化、高集積化は進む一方であり、サブクオータミクロンの加工を高精度かつ再現性よく行う技術が必要となってきた。なかで

3

も素子分離をはじめ、素子の多層化あるいは3次元化をはかるにあたり、高精度かつ微細なトレンチの形成は極めて重要な課題となっている。

【0003】トレンチを用いた素子分離を行う場合、トレンチ開口部の角が急峻である場合、半導体基板表面に形成されるMOSFETの電界集中の原因となり易いという問題がある。図11に示すように、トレンチの形状すなわち、トレンチのテーパ角度 θ とトレンチ上部の曲率半径 R はMOSFETの I_d - V_g 特性に大きな影響を与えることが知られている。

【0004】すなわち、テーパ角度 θ が垂直に近く、コーナー R が小さいトレンチの場合、MOSFETの I_d - V_g 特性が、ダブルハンプ(double hump)特性を示すことがある。このような問題を回避するには、トレンチのテーパ角度を緩やかにすればよい。しかしながら、素子の分離幅が微細になってきた場合、テーパを緩やかにしたのでは図12に示すようにトレンチをテーパ角度で決まる深さよりも深く形成することができなくなり、十分な分離性能を得ることができなくなる。また、所望の深さを得るためには、トレンチの開口径を極めて大きくする必要があり、微細化を阻む大きな問題となっていた。

【0005】そこで微細なトレンチにおいて、良好なトランジスタ特性と分離性能を両立させるべく、図13に示すように、トレンチの開口部分にのみ緩やかなテーパを形成し、それ以外の部分では急峻な角度となるようなトレンチ形状の実現が望まれている。

【0006】従来、臭化水素 HBr に1-5%の酸素 O_2 を添加することによって図13に示すようなY字形状のトレンチを得る方法が提案されている(特開平6-61190)。しかしながらこの方法では、トレンチ上部近傍には緩やかなテーパが形成されるが、図14に示すように、開口部分にはテーパが付きにくく急峻となるという問題があった。

【0007】これは図15(a)に示すように、シリコン基板100表面に形成された SiN (Si_3N_4)マスク101を介してトレンチ形成のためのエッチングを行う場合、エッチングの初期段階からトレンチT内壁にポリマー102を付着させながらエッチングを進行させなければならないが、 HBr/O_2 、 Cl_2/O_2 、 Cl_2/N_2 などを用いたプロセスでは、図15(b)に示すように、反応生成物である $SiCl_x$ や $SiBr_x$ が気相に供給されて始めて気相中の酸素ラジカルと反応して、 Si のハロゲン化酸化物の堆積が始める。従って、気相中への $SiCl_x$ や $SiBr_x$ の供給が開始される前の段階すなわち、エッチングの初期段階では、テーパが形成されにくく、急峻なプロファイルを形成してしまうことになる。

【0008】そこで、エッチングの初期段階から、テーパを形成するためには、気相から堆積種を供給する必要がある。そこで図16に示すような誘導結合型プラズマ

(3)

特開2002-141407

4

エッチング装置を用いて気相から CF_x ラジカルあるいはイオンを基板表面に供給し、フロロカーボンポリマーを堆積しながら、 Br によって Si 基板をエッチングする方法が提案されている。この装置は Al_2O_3 からなるセラミックドーム201と、下部電極としてのポリイミド静電チャック202との間にプラズマ205を生成し、このポリイミド静電チャック202上に載置されたシリコン基板200表面をエッチングするものである。セラミックドーム201の外側には12.56MHzの高周波電源に接続されたコイル204が配設されている。またポリイミド静電チャック202は13.56MHzのバイアス電源203に接続されている。

【0009】ここでは、第1ステップとして、チャンバー内の圧力を50mtorrとし、ソースパワー1200W、バイアスパワー200W、 $HBr/CF_4=80/80$ sccmとして30秒間エッチングを行う。

【0010】次に第2ステップとして、チャンバー内の圧力を40mtorrとし、ソースパワー1500W、バイアスパワー180W、 $HBr/Cl_2/O_2=160/20/5$ sccmとして58秒間エッチングを行う。このとき電極冷却用の冷媒温度は50℃とした。

【0011】かかる方法を用いた場合、十分な順テーパを形成するには、比較的高い圧力でエッチングを行う必要がある。しかしながら上記誘導結合型プラズマエッチング装置を用いてエッチングを行った結果50mtorr程度の圧力では残さが発生することがわかった。エッチング圧力を低くすれば残さの発生を防止することはできるがテーパ角度が大きくなるという問題があった。

【0012】また、 Si_3N_4 あるいは SiO_2 からなるエッチングマスクを用いて HBr/CF_4 あるいは HBr/CHF_3 プロセスにより第1のエッチング工程を行う場合、 Si_3N_4 あるいは SiO_2 に対するエッチング選択比が低く、エッチングマスクの膜減りが激しくなる。これはFラジカルによって Si_3N_4 あるいは SiO_2 がエッチングされてしまうからである。上記条件でエッチングを行った場合 Si_3N_4 からなるエッチングマスクの膜減り量は20-32mであった。

【0013】このように、 Si_3N_4 あるいは SiO_2 からなるエッチングマスクの膜減りが激しくなる。すなわちこの方法では、テーパの形成と残さ発生防止、残さ発生防止とマスクの膜減り低減がトレードオフの関係にあり、いずれも良好な結果を得るのは極めて困難な状況であった。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】このように従来の方法では、トレンチエッチングを行う場合、テーパの形成と残さ発生防止、残さ発生防止とマスクの膜減り低減がトレードオフの関係にあり、開口部近傍のテーパを緩やかに、そしてトレンチ内部では急峻となるように、高度の寸法精度を有するトレンチを形成するのは、極めて困難

5

であるという問題があった。

【0015】本発明は前記実情に鑑みてなされたもので、開口部近傍で緩やかなテーパ面をもつ高精度で信頼性が高いトレンチを得ることを目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】そこで本発明の第1では、トレンチを具備し、前記トレンチ側壁が、トレンチ開口部で緩やかなテーパ角をもつ第1のテーパ面と、所定の深さよりも深い領域で前記テーパ角よりも急峻なテーパ角をなす第2のテーパ面とを持つことを特徴とする。

【0017】かかる構成によれば、素子の微細化を維持しつつ、表面の開口部ではなだらかで、表面に形成する膜の段切れもなく信頼性の高い半導体装置を提供することが可能となる。

【0018】本発明の第2では、請求項1の半導体装置において、前記半導体基板はシリコン基板であり、前記トレンチは、内壁に絶縁膜が形成され、素子分離領域を構成していることを特徴とする。

【0019】かかる構成によれば、電流集中などの問題もなく、微細で信頼性の高い半導体装置を形成することが可能となる。

【0020】本発明の第3では、請求項1の半導体装置において、前記トレンチ内壁に形成された拡散層と、更にこの拡散層表面に形成された誘電体膜と、前記誘電体膜表面に形成された導電性膜とによってキャパシタを構成してなり、前記導電性膜は前記トレンチの開口端から前記半導体基板表面まで到達するように形成されていることを特徴とする。

【0021】本発明の第4では、請求項1の半導体装置において、前記トレンチ内壁にゲート絶縁膜を介してゲート電極が形成されており、ソース・ドレイン拡散領域の一方が前記トレンチの開口部近傍から、前記半導体表面まで到達するように形成され、トレンチ内壁の一部をチャネルとするMOSFETを構成していることを特徴とする。

【0022】本発明の第5では、半導体基板表面にトレンチを形成する工程が、ハロゲン化珪素、ハロゲン化ホウ素のうちの少なくとも1種類のガスと、酸素または窒素のうちの少なくとも1種類のガスとの混合ガスプラズマを用いてマスクから露呈する半導体基板表面を選択的にエッチングする第1のエッチング工程と、前記第1のエッチング工程の後、ハロゲン含有ガスと、酸素または窒素との混合ガスプラズマを用いて半導体基板表面をエッチングする第2のエッチング工程とを含むことを特徴とする。

【0023】かかる構成によれば、第1のエッチング工程でハロゲン化珪素あるいはハロゲン化ホウ素と、酸素または窒素のうちの少なくとも1種類のガスを添加しているため、珪素の酸化物、窒化物、酸化窒化物又はホウ素

(4)

特開2002-141407

6

の酸化物、窒化物、酸化窒化物等側壁保護膜となる化合物をプラズマから供給しているため、トレンチ開口部がなだらかなテーパ面を持つようにトレンチ形成がなされる。そしてこのようにして開口部がなだらかに形成された後、ハロゲン含有ガスを用いてエッチングを行うことにより急峻なトレンチを形成することが可能となる。

【0024】本発明の第6では、請求項5に記載の半導体装置の製造方法において、前記ハロゲン化珪素は SiCl_4 、 SiBr_4 のいずれかであり、前記ハロゲン化ホウ素は、 BCl_3 、 BBr_3 のいずれかであることを特徴とする。

【0025】本発明の第7では、半導体基板表面にトレンチを形成する工程が、ハロゲン化水素とフロロカーボンの混合ガスを用いてマスクから露呈する半導体基板表面を選択的にエッチングする第1のエッチング工程と、前記第1のエッチング工程の後、ハロゲン含有ガスと、酸素または窒素との混合ガスプラズマを用いて半導体基板表面をエッチングする第2のエッチング工程と、前記第2のエッチング工程の後、ハロゲン含有ガスと、酸素との混合ガスプラズマを用いて半導体基板表面をエッチングする第3のエッチング工程とを含むことを特徴とする。

【0026】かかる構成によれば、ハロゲン化水素とフロロカーボンの混合ガスを用いてプラズマから側壁保護膜形成のための活性種を半導体基板表面に供給して、緩やかなテーパ面を形成し、この後第2のエッチング工程においてハロゲン含有ガスと、酸素または窒素との混合ガスプラズマを用いて急峻なテーパ面を形成する。そして第3のエッチング工程において HBr などのハロゲン化水素を添加することによりマスクとのエッチング選択比を向上し、マスクの膜減りによる側壁の形状異常の発生を防止するようにしている。また Cl_2 を添加することにより、狭いトレンチでもエッチストップが生じるのを防ぐことができる。したがって、 $\text{Cl}_2/\text{HBr}/\text{O}_2$ を用いた第3のエッチング工程を実行することにより、微細なトレンチでも所望の深さを得ることが可能となる。

【0027】本発明の第8では、請求項7に記載の半導体装置の製造方法において、前記第3のエッチング工程は、 HBr と、 Cl_2 と、 O_2 との混合ガスを用いたエッチング工程であることを特徴とする。望ましくは、前記ハロゲン化水素は HCl 、 HBr 、 HI の少なくとも1種を含むことを特徴とする。

【0028】かかる構成によれば、 Cl_2 の添加により、テーパ角度が大きくなり、開口径の狭いトレンチ形成に際してもエッチストップを防止し、所望の深さのトレンチ形成を行うことが可能となる。また HBr の添加により、レジストなどのマスクとのエッチング選択比が向上し、マスクの膜減りを防止することが可能となる。

【0029】本発明の第9では、半導体基板表面にトレンチを形成する工程が、ハロゲンおよびまたはハロゲン

7

化水素と有機シラン ($\text{Si}(\text{CH}_3)_x\text{H}_{4-x}$) と酸素または窒素の混合ガスの混合ガスを用いてマスクから露呈する半導体基板表面を選択的にエッチングする第1のエッチング工程と、前記第1のエッチング工程の後、ハロゲン含有ガスと、酸素または窒素との混合ガスプラズマを用いて半導体基板表面をエッチングする第2のエッチング工程とを含むことを特徴とする。

【0030】かかる構成によれば、第1のエッチング工程でハロゲンおよびまたはハロゲン化水素と有機シラン ($\text{Si}(\text{CH}_3)_x\text{H}_{4-x}$) の混合ガスを用いているため、珪素の酸化物、窒化物、または窒化酸化物等、側壁保護膜となる化合物をプラズマから供給しているため、トレンチ開口部がなだらかなテーパ面を持つようにトレンチ形成がなされる。そしてこのようにして開口部がなだらかに形成された後、ハロゲン含有ガスを用いてエッチングを行うことにより急峻なトレンチを形成することが可能となる。

【0031】本発明の第10では、請求項9に記載の半導体装置の製造方法において、前記ハロゲンは、 Cl_2 、 Br_2 、 I_2 の少なくとも1種を含み、かつ前記ハロゲン化水素は HCl 、 HBr 、 HI の少なくとも1種を含むことを特徴とする。

【0032】本発明の第11では、請求項9又は10に記載の半導体装置の製造方法において、前記ハロゲン含有ガスは、 Cl_2 、 HCl 、 Br_2 、 HBr 、 HI の少なくとも1種を含むことを特徴とする。

【0033】本発明の第12では、請求項9乃至11に記載の半導体装置の製造方法において、前記有機シランガスは、テトラメチルシラン： $\text{Si}(\text{CH}_3)_4$ 、トリメチルシラン： $\text{Si}(\text{CH}_3)_3\text{H}$ 、ジメチルシラン： $\text{Si}(\text{CH}_3)_2\text{H}_2$ のいずれかであることを特徴とする。

【0034】本発明の第13では、半導体基板表面にトレンチを形成する工程が、ハロゲンおよびまたはハロゲン化水素と炭化水素の混合ガスを用いてマスクから露呈する半導体基板表面を選択的にエッチングする第1のエッチング工程と、前記第1のエッチング工程の後、ハロゲン含有ガスと、酸素または窒素との混合ガスプラズマを用いて半導体基板表面をエッチングする第2のエッチング工程とを含むことを特徴とする。

【0035】本発明の第14では、請求項13に記載の半導体装置の製造方法において、前記ハロゲンは、 Cl_2 、 Br_2 、 I_2 の少なくとも1種を含み、かつ前記ハロゲン化水素は HCl 、 HBr 、 HI の少なくとも1種を含むことを特徴とする。

【0036】本発明の第15では、請求項13又は14に記載の半導体装置の製造方法において、前記ハロゲン含有ガスは、 Cl_2 、 HCl 、 Br_2 、 HBr 、 HI の少なくとも1種を含むことを特徴とする。

【0037】

【発明の実施の形態】次に本発明の実施形態について図

(5)

特開2002-141407

8

面を参照しつつ詳細に説明する。まず、図1に示すように、シリコン基板1表面に膜厚170nmの窒化シリコン膜 Si_3N_4 を形成し、パターニングし、窒化シリコン膜からなるマスク2を形成する。

【0038】そしてこのマスク2を介して、素子分離のためのトレンチを形成する。装置としては、図16に示した誘導結合型プラズマエッチング装置を使用し、ポリイミド静電チャックに前記シリコン基板1を載置し、以下の条件で3ステップエッチングを行う。

10 【0039】ステップ1：圧力=15mTorr、ソースパワー：1200W、バイアスパワー：100W、 $\text{HBr}/\text{CF}_4=80/80\text{ sccm}$ の混合ガスを用いて、5秒間のエッチングを行う。

【0040】ステップ2：圧力=15mTorr、ソースパワー：1000W、バイアスパワー：150W、 $\text{Cl}_2/\text{N}_2=125/50\text{ sccm}$ の混合ガスを用いて、15秒間のエッチングを行う。

20 【0041】ステップ3：圧力=40mTorr、ソースパワー：1500W、バイアスパワー：180W、 $\text{HBr}/\text{Cl}_2/\text{O}_2=160/20/5\text{ sccm}$ の混合ガスを用いて、50秒間のエッチングを行う。

【0042】ここで電極冷却用の冷媒の温度は50℃とする。このようにして得られたエッチング形状を図2に示す。このように開口部が緩やかでかつ深い領域では急峻なテーパ面をもつなだらかなトレンチを得ることが可能となる。

【0043】図3(a)は、このようにして形成されたトレンチ底面の拡大写真である。平滑な表面状態を得ることができることがわかる。ちなみに従来の2ステップエッチング(特開平1-118628)で形成したトレンチ底面のSEM写真を図3(b)に示すとともに、および従来の方法(特開平1-118628)におけるトップラウンディングステップ終了時点でのシリコン表面のSEM写真を図3(c)に示す。これら図3(b)および図3(c)と図3(a)の比較からあきらかなように、従来の方法で形成したトレンチ底面は、図3(b)および図3(c)に示すように凹凸表面であった。

【0044】まず上記条件でステップ1のエッチングを行う。この工程では、残さ発生防止のために、圧力は30mTorr以下に設定しておくことが望ましい。また、マスクの膜減り量を抑えるためにソースパワーは1500W以下、バイアスパワーは300W以下とすることが望ましい。

【0045】更に HBr/CF_4 の流量比は120:40から40:120sccmの範囲で使用可能であると考えられる。ただし、 CF_4 比率が高い場合はマスクの膜減り量が大きくなる。

【0046】なお、エッチングガスおよび流量比率は、所望のテーパ角度を得ることができるように選択すればよい。

9

【0047】次に第2のエッチングステップについては、 Cl_2 および N_2 の混合ガスに限定されることなくシリコンのハロゲン化物と反応して基板表面に堆積するような反応生成物を生成することのできるガス組成を選択するようにするのが望ましい。

【0048】このガスの組み合わせとしては、 $\text{HBr} + \text{N}_2$ 、 $\text{HBr} + \text{Cl}_2 + \text{O}_2$ 、 $\text{HBr} + \text{Br}_2 + \text{O}_2$ 、 $\text{Cl}_2 + \text{O}_2 + \text{N}_2$ 、 $\text{HCl} + \text{N}_2$ 、 $\text{HCl}_2 + \text{Cl}_2 + \text{N}_2$ などが選択可能である。

【0049】第3のエッチングステップにおいては、ガスとしては、 Cl_2 、 HCl 、 Br_2 、 HBr 、 HI などが選択可能である。

【0050】このようにして得られたトレンチのテーパ角度は48.2度から59.0度であり、設計値どおりのものがバラツキなく得られた。バラツキはせいぜい11.8度であり、従来の方法で形成したトレンチのテーパ角度は45.7度から68.0度であり、バラツキは22.3度であった。

【0051】次に、第3のエッチングステップにおいて、塩素の流量を変化させて、テーパ角度を測定した。その結果を図4に示す。これは0.25ミクロン幅トレンチを形成する場合のテーパ角度の Cl_2 流量割合依存性を測定した結果を示すものである。 Cl_2 の添加量を増大することにより、テーパ角度が大きくなっていることが分かる。

【0052】ここでテーパ角度 θ と間口 W における最大トレンチ深さ d_{\max} は次式で示される。

$$d_{\max} = (W/2) \tan \theta$$

【0053】図5は最大トレンチ深さのトレンチテーパ角度依存性を示す。この式からトレンチの開口径が200nmであるとき、トレンチ深さ320nm以上とするためには、テーパ角度を72.6度以上となるようにエッチングプロセスを決定する必要がある。

【0054】また、開口部近傍でテーパを緩やかにして100nmにしたのち、更に320nm深さのトレンチエッチングを行う場合、トレンチのテーパ角度は81.1度以上でなければならない。開口径200nmのトレンチでテーパ角度72.6度以上のトレンチを形成するには図4から Cl_2 を5%程度添加すればよいことがわかる。また、開口径100nmのトレンチでテーパ角度72.6度以上のトレンチを形成するには Cl_2 添加割合を20%程度とすればよい。

【0055】このようにトレンチが微細化するに従い、トレンチの第2のテーパ面のテーパ角度を大きくする必要があるが Cl_2 の添加量を制御することにより、微細なトレンチに対して所望のトレンチ深さを得ることができるとわかる。

【0056】また、 Cl_2/O_2 プラズマでエッチングを行う場合、側壁ポリマーに対する選択比が低いために、図6(b)に示すように、第1のエッチングステップで形成

(6)

特開2002-141407

10

された側壁ポリマーがエッチングされ基板が露呈することがある。そして更にエッチングが進行すると、図6

(c)に示すように、側壁ポリマー6が除去された部分はエッチングされ、シリコン基板は削られていく。シリコン基板が新たにエッチングされてできたトレンチ側壁には SiO_2 系の付着物が保護膜7として堆積するため、これらの膜に保護された部分のシリコン基板は、エッチングはされない。このため、 SiO_2 系の反応生成物7により保護された部分が突起状の側壁を形成するのである。

【0057】更にエッチングが進行した場合は図6(c)に示すような顕著な異常形状を呈することになる。これに対し、前記第1の実施形態では第3のエッチングステップで HBr を添加しているため、 SiO_2 、 Si_3N_4 、 SiO_2 あるいはレジストに対する選択比が向上し、異常形状の発生を防止することが可能となる。

【0058】なお、マスクの膜厚 D はトレンチ幅 W にしてアスペクト比(D/W)が1を越えないような範囲にマスクの膜厚を設置する必要がある。アスペクト比が1を越えると、第1のエッチングステップにおいて開口部を緩やかにする際に側壁保護膜の被覆性が急激に劣化し始めるためである。アスペクト比を1以下とすることができれば、 Si_3N_4 に限定されることなくフォトレジストと Si_3N_4 との2層膜とするなど適宜変形可能である。

【0059】また、前記第1のエッチングステップは、望ましくは HCl 、 HBr 、 HI のうちいずれか1種以上のガスと一般式 $\text{C}_x\text{H}_y\text{X}_z$ で表されるガスとの混合ガス($X \geq 1$, $Z \geq 1$, $Y \geq 0$ でいずれも正数、 X は F または Br である。 $\text{C}_x\text{Br}_y\text{F}_z$ ($2x+2=y+z$)を用いてもよい。)を使用している。そしてガス比率は $\text{HBr}:\text{CF}_4$ が5:3~3:5が望ましい。プロセス圧力は30mTorr以下とする。エッチング時間はシリコン基板表面が単原子層以上エッチングされる時間であればよい。

【0060】第2のエッチングステップは Cl_2/N_2 又は $\text{Cl}_2/\text{HBr}/\text{N}_2$ をエッチングガスとし、 $\text{Cl}_2:\text{N}_2$ は24:3から25:10程度、 $\text{Cl}_2:\text{HBr}:\text{N}_2$ は $\text{Cl}_2:\text{HBr}$ を0:10~10:0の範囲としこれに N_2 を5~15%添加したものが望ましい。プロセス圧力は30mtorr以下とする。エッチング時間はシリコン基板表面が30nm以上エッチングされる時間であればよい。

【0061】更に第3のエッチングステップは、 $\text{HBr}/\text{Cl}_2/\text{O}_2$ とし、 Cl_2 を10から50%、ICPの場合は O_2 を5から10%、ECRの場合は、 O_2 を5から30%添加し、素子分離に必要なエッチング量に到達するまでエッチングを続行する。

【0062】なお、ソースパワーはイオン電流密度が基板上で0.5~3mA/cm²となるようなパワー、バイアスパワーは、基板設置電極における V_{pp} が40V

11

以上又はVdcが20eV以上となるパワーを選択する。ここでVdcを20eV以上としたのは、Si-Si結合をきるのに20eV以上のイオンエネルギーが必要であるからである。また、イオン電流密度を0.5-3mAとしたが、高すぎるとエッチング選択性が低下するという問題がある。

【0063】次に本発明の第2の実施形態について説明する。前記実施形態では3ステップエッチングをもちいたが、この方法では2ステップエッチングを用いたことを特徴とする。

【0064】まず、前記第1の実施形態と同様に図1に示すように、シリコン基板1表面に膜厚170nmの窒化シリコン膜Si₃N₄を形成し、パターニングし、窒化シリコン膜からなるマスク2を形成する。

【0065】そしてこのマスク2を介して、素子分離のためのトレンチを形成する。装置としては、図16に示した誘導結合型プラズマエッチング装置を使用し、ポリイミド静電チャックに前記シリコン基板1を載置し、以下の条件で2ステップエッチングを行う。

【0066】ステップ1：圧力=15mTorr、ソースパワー：1200W、バイアスパワー：100W、SiCl₄/N₂=80/10sccmの混合ガスを用いて、10秒間のエッチングを行う。このステップ1におけるガスの流量比は、N₂を5%~20%望ましくは10%程度含有するものである必要がある。また、SiCl₄、N₂混合ガスにCl₂を添加した場合はエッチングレートは大きくなるが、良好な順テーパ形状を得るためには、N₂流量はより大きくする必要がある。

【0067】ステップ2：ステップ3：圧力=40mTorr、ソースパワー：1500W、バイアスパワー：180W、HBr/Cl₂/O₂=160/20/5sccmの混合ガスを用いて、50秒間のエッチングを行う。このステップは前記第1の実施形態の第3のエッチングステップと同じ条件に設定した。

【0068】ここで電極冷却用の冷媒の温度は50℃とする。このようにして得られるエッチング形状も図2に示したのと同様であった。このように開口部が緩やかでかつ深い領域では急峻なテーパ面をもつならかなトレンチを得ることが可能となる。

【0069】ここで第1のエッチングステップではSiCl₄の他SiBr₄、BCl₃、BBR₃等が適用可能である。又第2のエッチングステップは前記第1の実施形態の第3のエッチングステップと同様、Cl₂の他HCl、Br₂、HBr、HIなどが適用可能である。

【0070】また、エッチング装置としては図16に示した誘導結合型プラズマ型エッチング装置の他、図7に示すように、ECR（エレクトロン・サイクロトロン・レゾナンス）プラズマエッチング装置にも適用可能であることはいうまでもない。この装置は、下部電極としてのセラミック静電チャック302上に載置されたシリコ

(7)

特開2002-141407

12

ン基板300表面をプラズマエッチングするものである。チャンバー301の外側には高周波電源に接続されたコイル304が配設されている。またセラミック静電チャック302は13.56MHzのバイアス電源303に接続されている。

【0071】ここでECRプラズマエッチング装置を用いたエッチング条件は以下のとおりであった。

【0072】ステップ1：圧力=1mTorr、ソースパワー（2.45GHzマイクロ波）：1400W、RFパワー：45W、Cl₂/N₂=25/3~9sccmの混合ガスを用いて、60秒間のエッチングを行う。

【0073】ステップ2：圧力=2mTorr、ソースパワー（2.45GHzマイクロ波）：1500W、RFパワー：56W、HBr/O₂=100/6sccmの混合ガスを用いて、50秒間のエッチングを行う

【0074】このようにして得られたトレンチ形状を図8乃至10に示す。これらの図は第1のエッチング工程におけるN₂流量を夫々3, 6, 9sccmと変化させたときの状態を示す図である。

【0075】これらの結果から、窒素流量の変化により、トレンチ開口のテーパ角を制御できることがわかる。図8乃至10より、前述のエッチング条件においては、窒素流量が3~6sccmの時に、良好なテーパ角を得ることができることがわかる。

【0076】所望のテーパ角度を得るために必要なCl₂:N₂流量比は、プロセス圧力、ソースパワー、バイアスパワーにも依存し、エッチング条件に応じて最適化する必要がある。

【0077】なお前記実施形態では窒化シリコン膜をマスクとして用いたが、酸化シリコン膜の他フォトレジストを、用いてもよい。

【0078】なお、前記実施形態ではこのトレンチを素子分離に用いる例についてのみ説明したが、素子分離に限定されることなく、トレンチの側壁をゲートとするトレンチ型MOSFET、トレンチ側壁をキャパシタとするトレンチ型キャパシタについても適用可能である。

【0079】トレンチ型MOSFETに適用した場合、本発明によれば、トレンチ内部で急峻でありかつトレンチ開口部近傍で緩やかなテーパ面を得ることができるため、トレンチ開口部近傍で配線の段切れが生じたりするのを防止しつつ、ほぼ垂直な面をゲートとして利用することができるため、占有面積の低減が可能となり、微細で信頼性の高い半導体装置を提供することが可能となる。

【0080】さらにまた、トレンチ底部およびまたはトレンチ側壁をキャパシタとして用いる場合、基板表面まで伸長するようにキャパシタ電極を形成する場合あるいは、配線によって基板表面に形成された回路装置と接続する場合などにも、トレンチ開口部近傍で配線の段切れが生じたりするのを防止しつつ、ほぼ垂直な面をキャバ

13

シタとして利用することができるため、占有面積の低減が可能となり、微細で信頼性の高い半導体装置を提供することが可能となる。

【0081】

【発明の効果】以上説明してきたように、本発明によれば、微細でかつ信頼性の高いトレンチ形成が可能となり、素子分離に要する面積も小さく、素子の微細化が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態によるトレンチの形成工程を示す図

【図2】本発明の一実施形態によるトレンチの形成工程を示す図

【図3】同工程で得られたトレンチ表面の写真および従来例の方法で形成されたトレンチ表面を示す写真

【図4】トレンチのテーパ角とC1₂添加量との関係を示す図

【図5】最大トレンチ深さのトレンチのテーパ角依存性を示す図

【図6】エッチング過程を示す説明図

【図7】ECRプラズマエッチング装置を示す図

【図8】図7のエッチング装置を用いて窒素添加量を変

(8)

特開2002-141407

14

化させたときのトレンチ形状を示す写真

【図9】図7のエッチング装置を用いて窒素添加量を変化させたときのトレンチ形状を示す写真

【図10】図7のエッチング装置を用いて窒素添加量を変化させたときのトレンチ形状を示す写真

【図11】従来のトレンチを示す説明図

【図12】従来のトレンチを示す説明図

【図13】理想的なトレンチ形状を示す説明図

【図14】従来の方法で形成したトレンチ形状を示す説

明図

【図15】従来の方法によるトレンチの形成工程を示す図

【図16】誘導結合型プラズマエッチング装置を示す図

【符号の説明】

100 シリコン基板

101 マスク

102 ポリマー

201 セラミックドーム

202 ポリイミド静電チャック

203 Al₂O₃

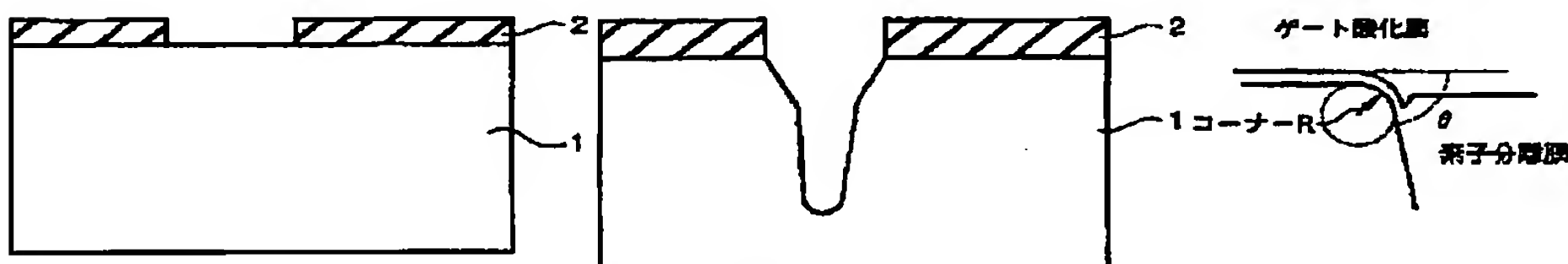
204 コイル

205 プラズマ

【図1】

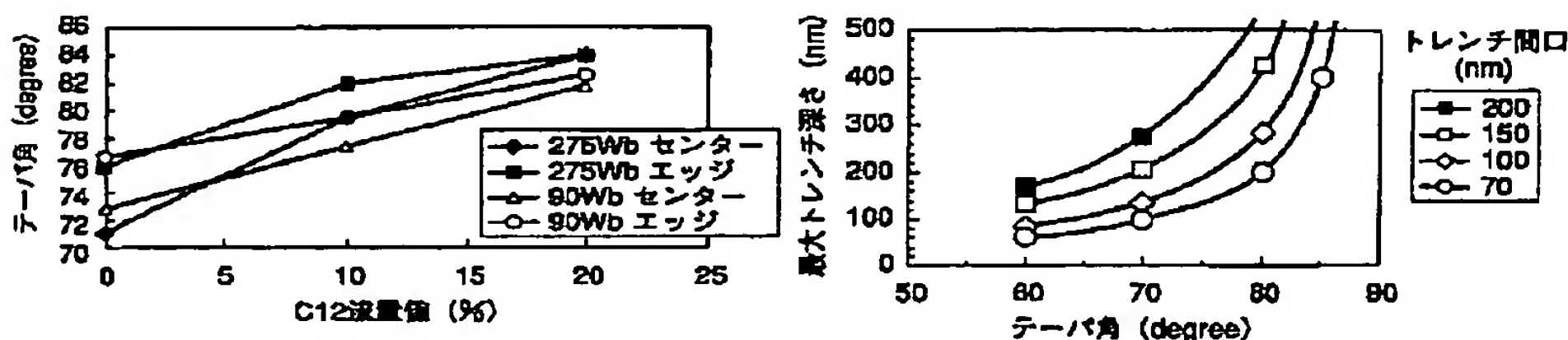
【図2】

【図11】



【図4】

【図5】

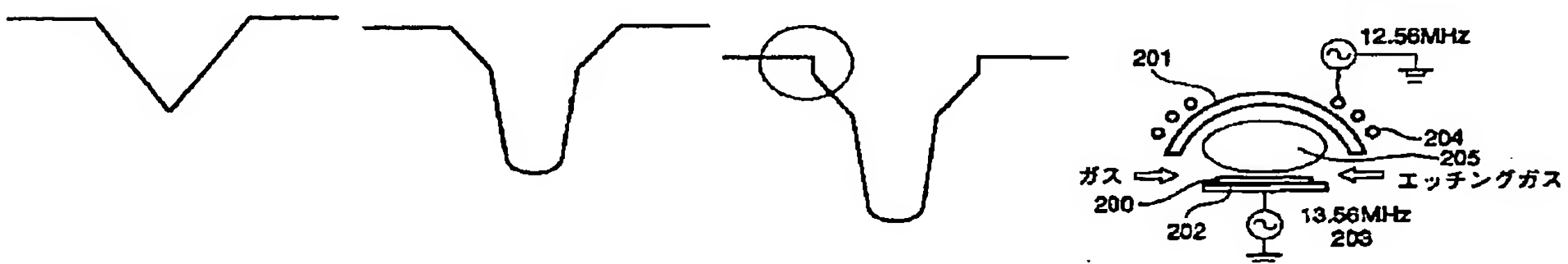


【図12】

【図13】

【図14】

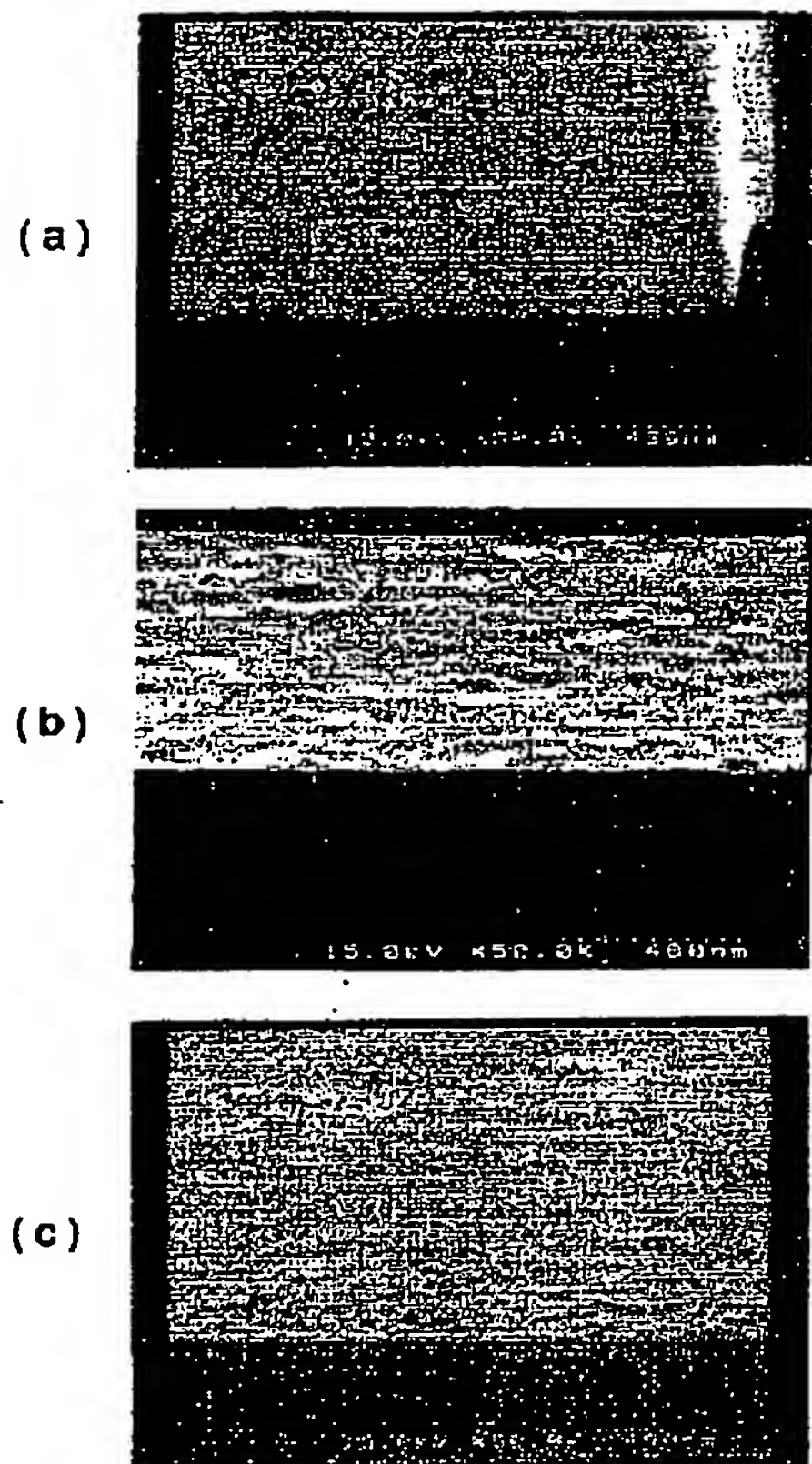
【図16】



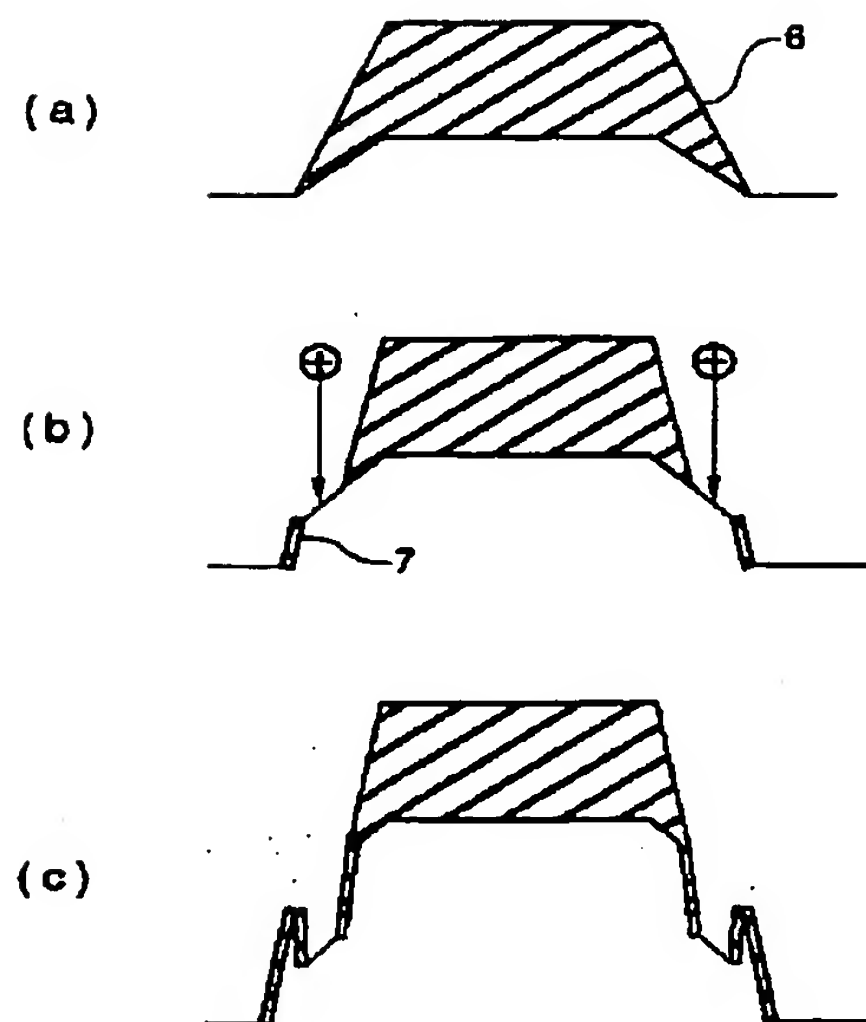
(9)

特開2002-141407

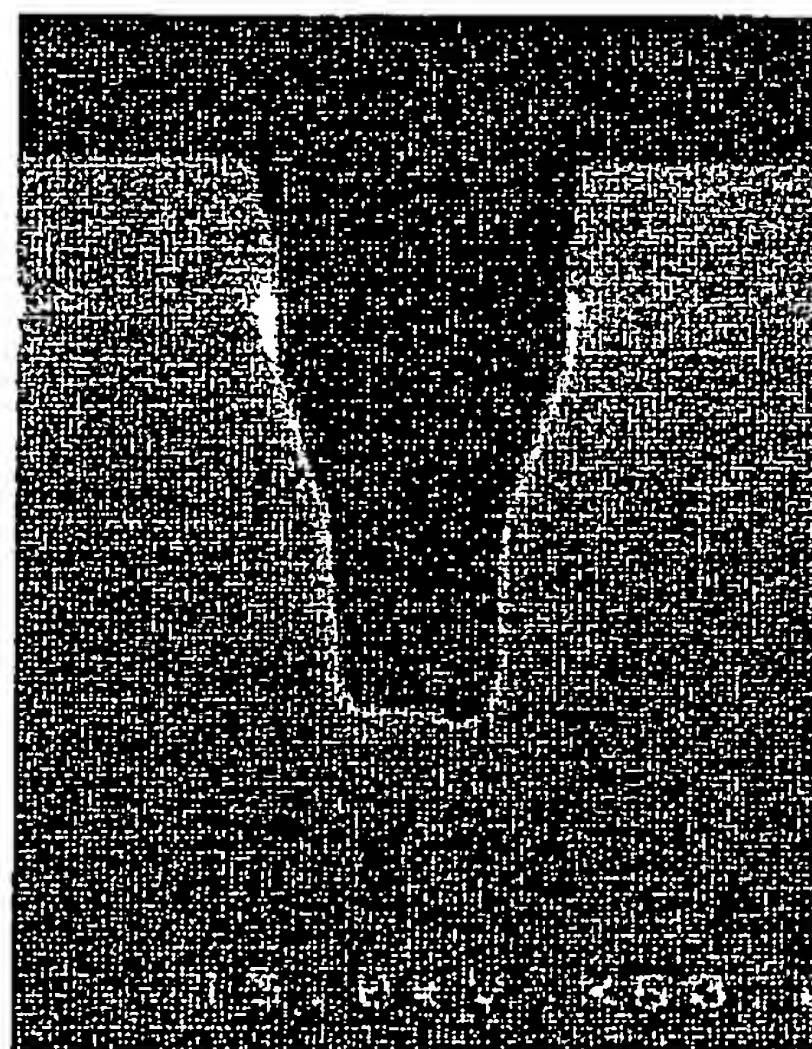
【図3】



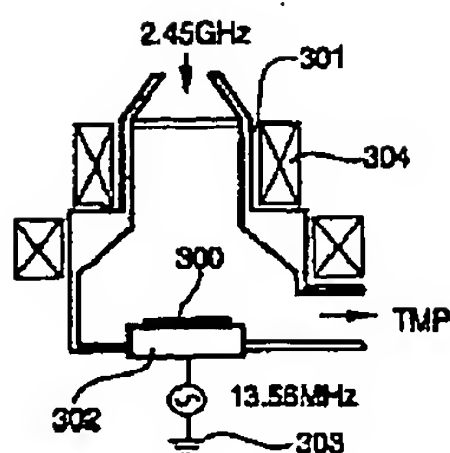
【図6】



【図8】



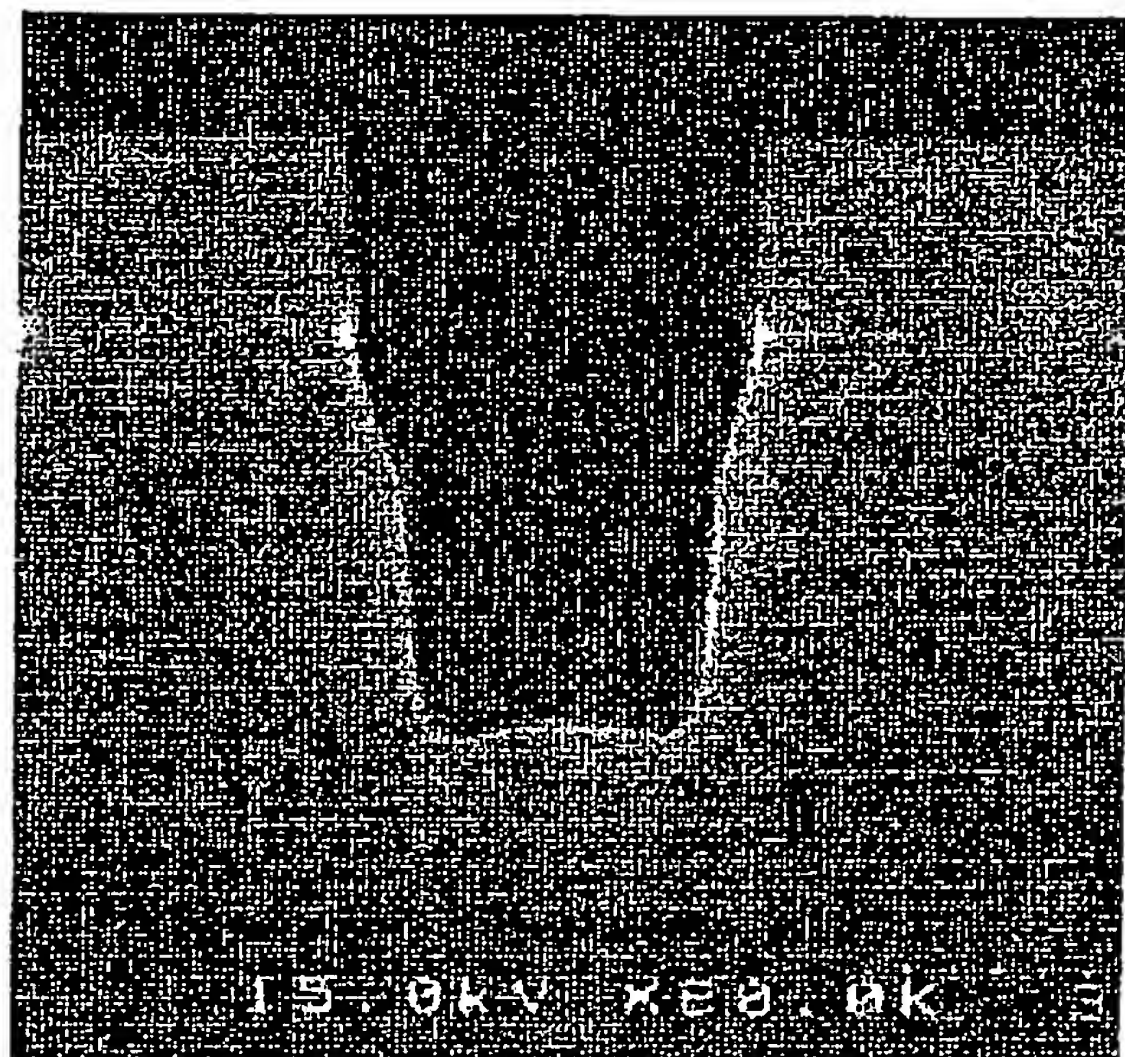
【図7】



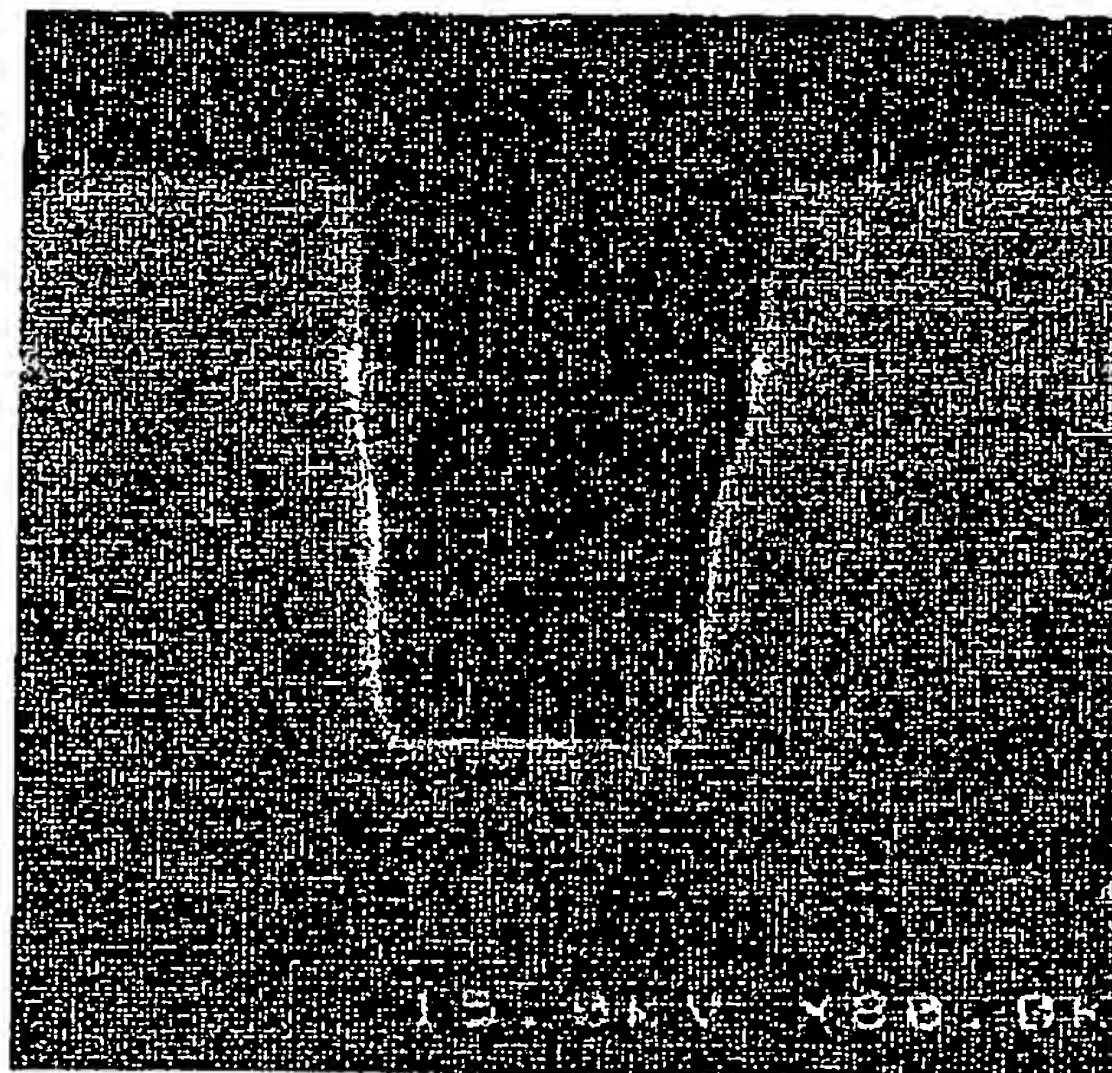
(10)

特開2002-141407

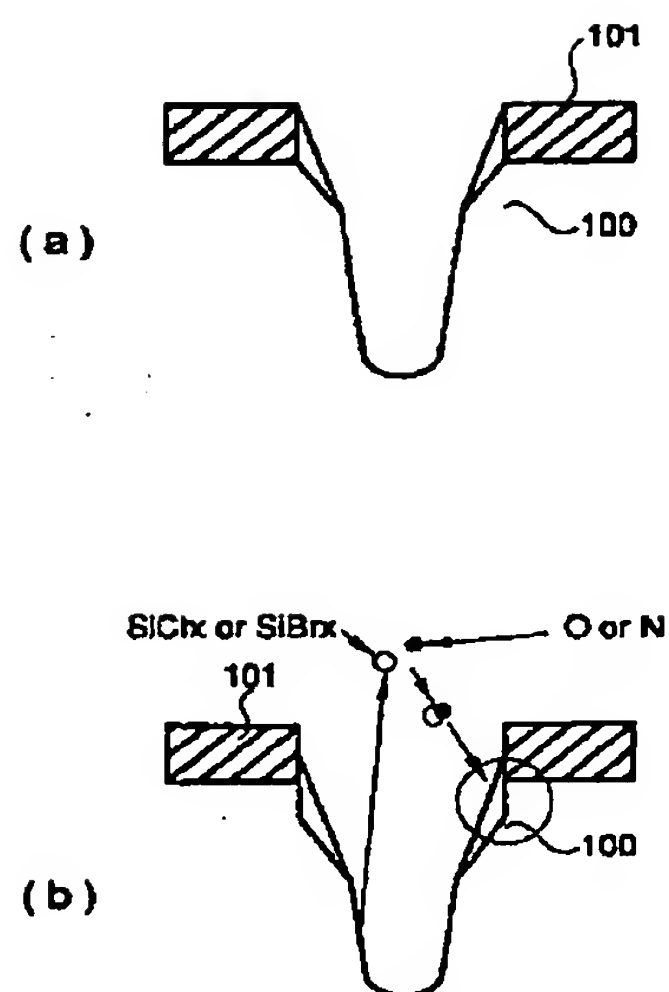
【図9】



【図10】



【図15】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁷
H 0 1 L 29/78
21/336

識別記号
6 5 3

F I
H 0 1 L 29/78

テ-マ-ト (参考)
6 5 8 G

(11)

特開2002-141407

Fターム(参考) 5F004 AA11 BA16 BA20 BB14 BB18
CA01 DA00 DA01 DA04 DA11
DA25 DA26 DA29 DB01 EA28
EB04 EB05
5F032 AA36 AA67 CA17 DA23 DA28
DA30
5F038 AC10 EZ15 EZ20
5F040 DC01 EC24 EK05 FC21

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.